

補助事業番号 2018M-159

補助事業名 平成30年度 環境適応学習機能をもつ走行回転体の開発 補助事業

補助事業者名 東北大学大学院 工学研究科 ロボットシステム講座 林部研究室

1 研究の概要

環境の変化を伴う不整地や床面の傾きの変動、速度の調整、方向転換、外乱への対応を行おうとすると環境からの感覚フィードバックをうまく情報処理する必要があり、かつ未知の環境下での安定的な歩行を行うためには環境の知覚と適応運動パターン獲得のための学習制御機能をもつ必要がある。環境とのインタラクションを通じて運動パターンの学習プロセスを検証する上では物理シミュレーションPlatformの使用が威力を発揮する。運動学習アルゴリズムにより環境に適応しながらエネルギー効率の高い走行制御をシミュレーションで実現した。実機では回転体の制御モードを環境に合わせて自動切換えすることでたしかにエネルギー効率は増すことを確認した。

2 研究の目的と背景

人間は未知の環境にも少しずつ対応していくその適応性、学習性が秀でており、これが動物界で最も優れた人間の環境インタラクション能力を生み出していると言っても過言ではない。本研究の学術的問いはヒトとキカイの共生を工学的にも脳科学的にも深く理解するため、ロボティクスモデル化技術をベースとして用い人間の環境適応、環境学習性に関する運動制御、学習メカニズムの解明とそれに資する人間の運動情報の収集およびロボティクスツールを用いた解析を目指す。本事業では走行回転体をターゲットとしヒトのような環境適応を目指す。

リムレスホイールはこれまで2脚受動歩行の力学原理を理解する上で重要な研究対象となってきた。平面での定速走行は難しくないが、環境の変化を伴う不整地や床面の傾きの変動、速度の調整、方向転換、外乱への対応を行おうとすると環境からの感覚フィードバックをうまく情報処理する必要があり、かつ未知の環境下での安定的な歩行を行うためには環境の知覚と適応運動パターン獲得のための学習制御機能をもつ必要があり未だ実現されていない。本補助事業では環境適応能をもつ走行回転体を開発することが目的である。不整地での安定した走行はすでにそれ自体でも容易なタスクではないが、それに加え路面の物理特性が事前の情報なしに変動する場所でも走行が可能となる運動学習制御機能をもつ走行回転体を開発し、その環境適応性を評価する。ヒトの運動計測も行い、ヒトの環境適応のパラダイムを採用することで環境適応できる移動体を開発する。また実機では低自由度の回転体で検証を行うが、シミュレーションでは多自由度の走行体においてエネルギー効率の高い走行を実現するためにはどのような運動制御が必要となるか検証を行う。

3 研究内容

(1) 環境適応機能をもつ走行回転体の開発 (<http://neuro.mech.tohoku.ac.jp/jka/>)

人間は環境に適応した制御指針を採用していることが知られている。たとえば上り坂や下り坂で一見同じようなフォームで歩行しているように見えても、制御的にはうまくエネルギー効率を最大化するように、たとえば下り坂では重力をうまく使えるような制御をすることで自分の筋肉によるエネルギー消費を抑えるような制御指針をとる。上の今後予定している走行実験で運動速度を変えたときにどのような筋肉制御を行っているかを調査し、環境適応学習機能をもった走行回転体の実現に向けて下記のようなプラットフォームを開発し基礎実験を行った。



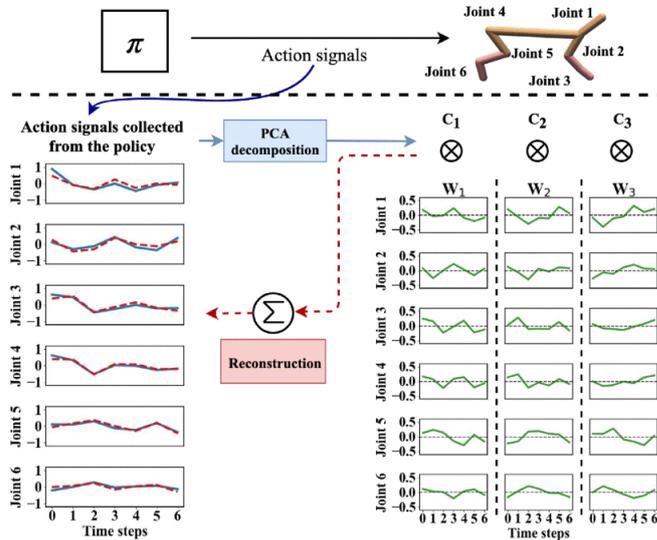
Wheel robot and rimless wheel robot

異なるレベルの上り坂、下り坂を用意し、本システムを異なる速度で走行させ、まずは環境適応のための情報がモータから得られるかどうかの実験を行った。下のような実験条件で走行実験を行い、下のような電流値の変化が得られることを確認した。異なる環境での情報を自身のモータ情報から得られることは筋肉アクチュエータにおいて負荷情報を用いることに対応する。複数回の実験を行い、それぞれの環境で再現性のある電流負荷となることが確認された。また実験データを用いてサポートベクターマシン (SVM) により機械学習を行うことでそれぞれの環境条件を自動的にリアルタイムで認識できることが確認された。Classificationを行った結果を下記に示す。オンラインSVMにより環境の変化を自動認識できることがわかったので、人間が動きの周波数を環境によって変化させるように、環境に応じて速度制御ゲインを自動的に変動させる実験を行い、そのエネルギー消費について検証する実験を行った。特に環境条件を制御器には明示的に与えない形でオンライン速度適応制御が可能であるか検証した。モーター負荷のかかる上り坂では速度を低減させ、下り坂では速度を増加させることで同じ距離、同じ時間での移動問題においてエネルギー消費の差異があるという結果が得られ、エネルギー消費を低減できることがわかった。

(2) 環境適応深層学習による走行における運動シナジーの発現

走行回転体の実験を通じて制御モードとエネルギー効率性の連動性があることが示された。さらなる多自由度走行体での検証のため、多関節の歩行エージェントに対し、事前のモデルや環境の情報を全く与えずに、純粋に深層強化学習のみによる繰り返し試行により歩行タスクの学習を行い、関節空間の運動制御信号がどのように変化しているかを調査しました。関節トルク入力スペースの時空間パターンをPCA (独立主成分分析) で運動シナジーの発現度合いを各試行ごとに定量化することで、運動習熟度と運動シナジーの発現度合いの連動性を調べた。

学習が進むにつれて変化している運動シナジーの発現度合いを調べると、確かにタスク習熟度が進むにつれて運動シナジーの発現がおき、また運動シナジーの発現度合いがエネルギーあたりのパフォーマンス（歩行速度）と高い相関関係にあることがわかった。



深層強化学習による歩行タスクを行いながら時空間シナジーを算出する模式図

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本研究では環境適応学習機能をもつ走行回転体の開発と題して人間の運動制御の調査から、エネルギー効率的な移動体に必要な制御に関する研究を行った。シミュレーションでは多自由度の制御入力においてシナジーを学習アルゴリズムを通じて実際にエネルギー効率が上昇することを確認することができた。実機では単純な回転体でその実装を行うことができたが、今後の展開としては実機でもより多自由度の走行移動体に本コンセプトを取り入れることは重要であると考えています。今後次期プロジェクトでは、多自由度の走行移動体のエネルギー高効率制御に取り組んでみたいと考えている。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまで我々の研究室では環境適応をしながらヒトのような運動協調パターンを生成するアルゴリズムを開発し、腕のリーチング動作にそれを応用した。歩行や走行についてはこれまであまり行ってきていなかったが、今回は走行に重点をおいてこれまでの研究コンセプトが歩行についても拡張可能な検証を行うことができた。学習アルゴリズムを用いて環境に適応し運動パターン生成器を作り出す学習制御則を構築し、走行回転体において新しい環境適応性を示す移動体を実現することができた。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

論文誌：

1. Identification of Time-Varying and Time-Scalable Synergies From Continuous Electromyographic Patterns, IEEE Robotics and Automation Letters, (2019), 4(3):3053-3058, Felipe M. Ramos, Andrea d'Avella, M. Hayashibe

2. Motor Synergy Development in High-performing Deep Reinforcement Learning algorithms, IEEE Robotics and Automation Letters, April 2020, 5(2):1271-1278, Jiazheng Chai, M. Hayashibe

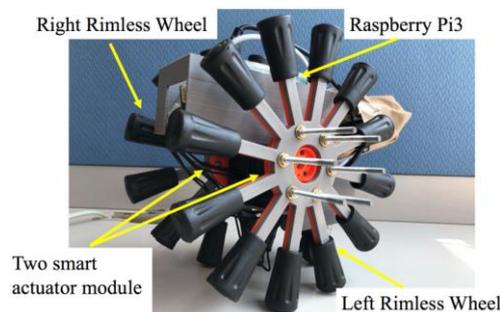
学会発表：

3. J. Han, J. Chai, D. Owaki, M. Hayashibe, “Development of a Rimless Wheeled Robot That Enables Adaptive and Energy-efficient Locomotion”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2020), May 2020発表予定
4. 坂本 誠一, 大脇 大, 林部 充宏, “再帰型ニューラルネットワークを用いた筋電位および慣性センサによる床反力推定”, 日本機械学会東北支部 第55期総会・講演会, Mar 2020
5. 坂本 誠一, 大脇 大, 林部 充宏, “再帰型ニューラルネットワークを用いた筋電位による床反力推定”, ロボティクス・メカトロニクス講演会, Jun 2019
6. 門山 尚貴, 大脇 大, 林部 充宏, “腰運動へのエネルギー補填を介した準受動歩行の検討”, 第37回日本ロボット学会学術講演会, Sep 2019
7. 猪股 映史, Felipe M. Ramos, 大脇 大, 林部 充宏, “サイクリング速度による筋シナジー遷移解析”, 計測自動制御学会 東北支部 第327回研究集会, Dec 2019

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

環境適応機能をもつ回転体



(2)(1)以外で当事業において作成したもの

特になし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名：東北大学大学院 工学研究科

(トウホクダイガクダイガクインコウガクケンキュウカ)

住 所：〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-01

担 当 者：教授 林部充宏 (ハヤシベミツヒロ)

担 当 部 署：ロボティクス専攻 林部研究室

(ロボティクスセンコウハヤシベケンキュウシツ)

E - m a i l : hayashibe@tohoku.ac.jp

U R L : <http://neuro.mech.tohoku.ac.jp/>